



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년08월19일
(11) 등록번호 10-0977073
(24) 등록일자 2010년08월13일

(51) Int. Cl.
G01N 27/00 (2006.01) G01N 27/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0051180
(22) 출원일자 2008년05월30일
심사청구일자 2008년05월30일
(65) 공개번호 10-2009-0124781
(43) 공개일자 2009년12월03일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020070111845 A
JP2004028907 A
US7024315 B2

(73) 특허권자
한국과학기술원
대전 유성구 구성동 373-1
(72) 발명자
손훈
대전 유성구 구성동 한국과학기술원 건설 및 환경 공학과
박승희
대전광역시 유성구 구성동 373-1한국과학기술원
(74) 대리인
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 1 항

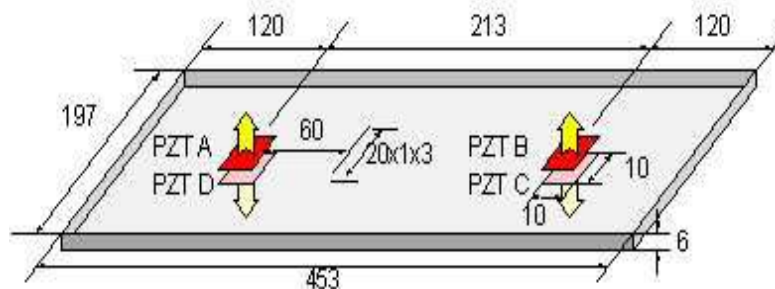
심사관 : 최석진

(54) 평판 구조물의 손상 추정방법

(57) 요약

본 발명은, 상면과 하면을 가지는 평판 구조체의 상면에 제1압전센서를 부착하고, 상기 평판 구조체의 하면 중 상기 제1압전센서의 하부에 제2압전센서를 부착하며, 상기 평판구조물의 상면 중 상기 제1압전센서로부터 일정거리 떨어진 지점에 제3압전센서를 부착하고, 상기 평판구조물의 하면 중 상기 제3압전센서의 하부에 제4압전센서를 부착되, 상기 압전센서들이 상기 평판 구조체에 부착되는 면이 양극 또는 음극으로 통일되게 부착하는 압전센서 부착단계; 상기 압전센서들의 크기와 상기 평판 구조물의 두께를 고려하여 가진 주파수 대역을 설정하는 주파수 설정단계; 상기 주파수 설정단계에서 설정된 주파수 대역 내에서 일정크기의 주파수를 증가시켜 가면서 반복적으로 상기 제1압전소자에 전압을 가해 상기 평판 구조체를 가진 한 후 각 주파수별로 상기 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압을 각각 측정하는 제1측정단계; 상기 주파수 설정단계에서 설정된 주파수 대역 내에서 일정크기의 주파수를 증가시켜 가면서 반복적으로 상기 제2압전소자에 전압을 가해 상기 평판 구조체를 가진 한 후 각 주파수별로 상기 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압을 각각 측정하는 제2측정단계; 상기 각 주파수별로, 상기 제1압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진 하여 상기 제3압전소자에서 측정된 전압데이터인 1-3측정치에서 상기 제2압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진 하여 상기 제4압전소자에서 측정된 전압데이터인 2-4측정치를 뺀 결과를 2로 나누는 M1데이터 추출단계; 상기 각 주파수별로, 상기 제1압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제4압전소자에서 측정된 전압데이터인 1-4측정치에서 상기 제2압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제3압전소자에서 측정된 전압데이터인 2-3측정치를 뺀 결과를 2로 나누는 M2데이터 추출단계; 상기 각 주파수별로, 상기 M1데이터와 상기 M2데이터를 서로 더한 결과를 2로 나누는 M3데이터 추출단계; 상기 각 주파수별로, 상기 M1데이터에서 상기 M2데이터를 뺀 결과를 2로 나누는 M3데이터 추출단계; 상기 각 주파수별로 추출된 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 각각 푸리에 변환하는 푸리에 변환 단계; 상기 각 주파수별로 상기 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 푸리에 변환한 결과를 바탕으로 그래프를 그리고 그 그래프의 면적의 상대크기를 비교함으로써 손상 여부 추정하는 손상추정단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 평판 구조물의 손상 추정방법을 제공한다.

대표도 - 도4



특허청구의 범위

청구항 1

상면과 하면을 가지는 평판 구조체의 상면에 제1압전센서를 부착하고, 상기 평판 구조체의 하면 중 상기 제1압전센서의 하부에 제2압전센서를 부착하며, 상기 평판구조물의 상면 중 상기 제1압전센서로부터 일정거리 떨어진 지점에 제3압전센서를 부착하고, 상기 평판구조물의 하면 중 상기 제3압전센서의 하부에 제4압전센서를 부착하되, 상기 압전센서들이 상기 평판 구조체에 부착되는 면이 양극 또는 음극으로 통일되게 부착하는 압전센서 부착단계;

상기 압전센서들의 크기와 상기 평판 구조물의 두께를 고려하여 가진 주파수 대역을 설정하는 주파수 설정단계;

상기 주파수 설정단계에서 설정된 주파수 대역 내에서 일정크기의 주파수를 증가시켜 가면서 반복적으로 상기 제1압전소자에 전압을 가해 상기 평판 구조체를 가진 한 후 각 주파수별로 상기 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압을 각각 측정하는 제1측정단계;

상기 주파수 설정단계에서 설정된 주파수 대역 내에서 일정크기의 주파수를 증가시켜 가면서 반복적으로 상기 제2압전소자에 전압을 가해 상기 평판 구조체를 가진 한 후 각 주파수별로 상기 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압을 각각 측정하는 제2측정단계;

상기 각 주파수별로, 상기 제1압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제3압전소자에서 측정된 전압데이터인 1-3측정치에서 상기 제2압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제4압전소자에서 측정된 전압데이터인 2-4측정치를 뺀 결과를 2로 나누는 M1데이터 추출단계;

상기 각 주파수별로, 상기 제1압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제4압전소자에서 측정된 전압데이터인 1-4측정치에서 상기 제2압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제3압전소자에서 측정된 전압데이터인 2-3측정치를 뺀 결과를 2로 나누는 M2데이터 추출단계;

상기 각 주파수별로, 상기 M1데이터와 상기 M2데이터를 서로 더한 결과를 2로 나누는 M3데이터 추출단계;

상기 각 주파수별로, 상기 M1데이터에서 상기 M2데이터를 뺀 결과를 2로 나누는 M3데이터 추출단계;

상기 각 주파수별로 추출된 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 각각 푸리에 트랜스폼하는 푸리에 트랜스폼 단계;

상기 각 주파수별로 상기 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 푸리에 트랜스폼한 결과를 바탕으로 그래프를 그리고 그 그래프의 면적의 상대크기를 비교함으로써 손상 발생 여부를 추정하는 손상추정단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 평판 구조물의 손상 추정방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 평판 구조물의 손상 추정방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 구조물에 손상이 없는 상태인 베이스라인 데이터 없이 평판 구조물의 건전도를 측정할 수 있는 평판 구조물의 손상 추정방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 대부분 사회기반시설의 건설목적은 인간 생활에서의 편의와 안락함을 추구하고자 함이며, 이러한 시설물을 설계하거나 시공하는 경우에는 기능성 및 안전성이 중요한 요인으로 작용하게 된다. 그러나 대부분의 구조물은 사용기간 동안 발생하는 끊임없는 하중조건 변화와 구조부재의 열화로 인하여 점차 그 기능 및 성능이 상실되며, 심지어는 인명과 재산권을 위협하는 대형 붕괴사고를 일으키기도 한다. 중요한 사회기반 시설물 중의 하나인 교량, 빌딩, 댐 등의 구조물은 지진, 태풍, 홍수 등 예상하지 못한 환경변화로 인하여 구조적인 손상을 받을 수 있으며, 이로부터 잔존수명이 현저히 저하되거나 붕괴할 위험을 가질 수 있다. 이러한 위험을 예방하기 위하여 여러 가지 기법을 이용한 구조물 안전진단(Structural Health Monitoring) 기법들이 제시되고 있다.

[0003] 종래의 구조물 안전진단 기법은 공통으로 구조물에 손상이 발생하지 않은 상태의 데이터인 베이스라인 데이터를

요구한다. 구조물에 손상이 발생하지 않은 상태에서 측정된 결과와 현재 상태의 측정결과를 비교하여 구조물에 손상이 발생한 지 여부를 추정하는 것이다. (이때 측정되는 데이터로는 속도, 가속도, 변위 등이 있다.)

[0004] 그러나 문제가 되는 오래된 구조물의 경우 베이스라인 데이터를 구하는 것이 불가능하므로 그 대안으로서 설계 사항을 반영한 유한요소 모델을 시뮬레이션해서 베이스라인 데이터로 사용하는 경우가 많은데, 시공과정에서 설계시의 물성치와 동일한 구조물을 만드는 것이 불가능하므로 시뮬레이션 데이터와 실제 시공된 구조물의 측정치 사이에는 많은 차이가 발생할 수밖에 없었다. 이로 인해 손상도 추정 결과의 신뢰도가 낮아지는 것은 자명한 일이다.

[0005] 이러한 종래의 손상추정 기법은 구조물의 종류와 상관없이 적용되어 왔으며, 평판구조물의 경우에도 그대로 적용되어 왔다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 도출된 것으로서, 평판 구조물에 손상이 없는 상태에서의 측정 결과 없이도 평판 구조물의 손상을 추정할 수 있는 평판 구조물의 손상 추정방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

[0007] 전술한 과제를 해결하기 위한 수단으로서 본 발명은,

[0008] 상면과 하면을 가지는 평판 구조체의 상면에 제1압전센서를 부착하고, 상기 평판 구조체의 하면 중 상기 제1압전센서의 하부에 제2압전센서를 부착하며, 상기 평판구조물의 상면 중 상기 제1압전센서로부터 일정거리 떨어진 지점에 제3압전센서를 부착하고, 상기 평판구조물의 하면 중 상기 제3압전센서의 하부에 제4압전센서를 부착하되, 상기 압전센서들이 상기 평판 구조체에 부착되는 면이 양극 또는 음극으로 통일되게 부착하는 압전센서 부착단계;

[0009] 상기 압전센서들의 크기와 상기 평판 구조물의 두께를 고려하여 가진 주파수 대역을 설정하는 주파수 설정단계;

[0010] 상기 주파수 설정단계에서 설정된 주파수 대역 내에서 일정크기의 주파수를 증가시켜 가면서 반복적으로 상기 제1압전소자에 전압을 가해 상기 평판 구조체를 가진 한 후 각 주파수별로 상기 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압을 각각 측정하는 제1측정단계;

[0011] 상기 주파수 설정단계에서 설정된 주파수 대역 내에서 일정크기의 주파수를 증가시켜 가면서 반복적으로 상기 제2압전소자에 전압을 가해 상기 평판 구조체를 가진 한 후 각 주파수별로 상기 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압을 각각 측정하는 제2측정단계;

[0012] 상기 각 주파수별로, 상기 제1압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제3압전소자에서 측정된 전압데이터인 1-3측정치에서 상기 제2압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제4압전소자에서 측정된 전압데이터인 2-4측정치를 뺀 결과를 2로 나누는 M1데이터 추출단계;

[0013] 상기 각 주파수별로, 상기 제1압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제4압전소자에서 측정된 전압데이터인 1-4측정치에서 상기 제2압전소자를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진하여 상기 제3압전소자에서 측정된 전압데이터인 2-3측정치를 뺀 결과를 2로 나누는 M2데이터 추출단계;

[0014] 상기 각 주파수별로, 상기 M1데이터와 상기 M2데이터를 서로 더한 결과를 2로 나누는 M3데이터 추출단계;

[0015] 상기 각 주파수별로, 상기 M1데이터에서 상기 M2데이터를 뺀 결과를 2로 나누는 M3데이터 추출단계;

[0016] 상기 각 주파수별로 추출된 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 각각 푸리에 트랜스폼하는 푸리에 트랜스폼 단계;

[0017] 상기 각 주파수별로 상기 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 푸리에 트랜스폼한 결과를 바탕으로 그래프를 그리고 그 그래프의 면적의 상대크기를 비교함으로써 손상 발생 여부를 추정하는 손상추정단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 평판 구조물의 손상 추정방법을 제공한다.

효과

[0018] 본 발명에 의하면 손상 이전의 상태에 대한 정보가 없어도 평판 구조물의 손상도를 추정할 수 있는 평판 구조물의 손상 추정방법을 제공할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0019] 이하에서는 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 설명하기로 한다.

[0020] 본 발명에 따른 평판 구조물의 손상 추정방법은 압전센서 부착단계, 주파수 설정단계, 제1측정단계, 제2측정단계, M1데이터 추출단계, M2데이터 추출단계, M3데이터 추출단계, M4데이터 추출단계, 푸리에 트랜스폼 단계, 손상추정단계로 이루어진다.

[0021] 상기 압전센서 부착단계를 설명한다. 압전소자는 잘 알려진 바와 같이 기계적인 압력이 가해지는 경우 전기적 전하 또는 전압을 발생시키기도 하고, 전기장이 가해질 경우 기계적 변형이 발생하기도 하는 소자이다. 이러한 특징으로 인해 압전소자는 측정이나 제어분야에서 많이 사용되어 오고 있다.

[0022] 우선 상면과 하면을 가지는 평판 구조체의 상면에 제1압전센서를 부착하고, 그 제1압전센서와 일정거리 떨어진 지점에 제3압전센서를 부착한다. 제2압전센서는 상기 평판 구조체의 하면에 부착하되 상기 제1압전센서의 바로 아래에 부착하고, 상기 제4압전센서도 상기 제3압전센서와 마찬가지로 상기 평판 구조체의 하면에 부착하되 상기 제3압전센서의 바로 아래에 부착한다. 이때 압전센서에는 음극과 양극이 있는데, 상기 압전센서들을 부착할 때 그 부착면이 음극 또는 양극으로 통일되도록 한다.

[0023] 전술한 바와 같이 압전센서들이 부착되면 상기 압전센서들의 크기와 상기 평판 구조물의 두께를 고려하여 가진 주파수를 결정한다.

[0024] 가진 주파수가 결정되면 제1측정단계를 실시하게 되는데, 이는 정해진 주파수 대역 내에서 일정 주파수만큼 증가시키면서 상기 제1압전센서를 이용하여 상기 평판 구조물을 가진 하고, 그 가진에 의한 상기 제3압전센서와 상기 제4압전센서의 전압변화를 측정한다. 이때 상기 제1압전센서에 의한 가진으로 상기 제3압전센서와 상기 제4압전센서의 전압변화는 상기 평판 구조물 내에서 전달되는 램파(Lamb wave)에 의한 것이다. 램파는 1917년 호레이스 램(Horace Lamb)에 의해 이론이 정립된 후 1960년대 이후 비파괴검사의 수행에 이용되었다. 램파는 벌크 파인 P파와 S파가 평판 구조물의 내부에 생성되어 진행하다가 평판 구조물의 윗면과 아랫면의 자유경계면에 의해 반사를 반복하면서 조화를 이뤄 생성되는 유도파의 일종으로 전파형태에 따라 대칭파(S_0)와 비대칭파(A_0)로 분류된다. 램파의 전파형태는 가진 주파수와 평판 구조물의 두께의 곱에 따라 그 전파속도가 결정되며 주파수-두께 곱의 변화에 따라 전파속도가 변하는 분산특성이 있다.

[0025] 만약 상기 주파수 결정단계에서 결정된 가진 주파수대역이 100kHz~200kHz라면 100kHz로부터 일정 크기의 주파수 예를 들어 1kHz씩 증가시켜가면서 가진을 하게 되는데 각각의 주파수에서의 응답(전압)을 모두 측정해서 보관한다. 제1압전소자를 이용하여 100kHz로 평판 구조물을 가진하고 제3압전소자의 전압변화의 측정치인 1-3측정치와 제4압전소자의 전압변화의 측정치인 1-4측정치를 구하고, 101kHz, 102kHz, ... 200kHz까지의 가진 주파수로 차례로 제1압전소자를 이용하여 평판 구조물을 가진한 후 각각의 주파수별로 제3압전소자 및 제4압전소자의 전압변화를 측정하는 것이다. 이 경우 1-3측정치와 1-4측정치는 각각 101세트씩이 된다. 물론, 주파수의 증가치는 2kHz가 될 수도 있고, 0.5kHz가 될 수도 있다.

[0026] 제2측정단계는 제1측정단계와 동일한 방법으로 이루어지게 되며 다만 다른 것은 정해진 주파수 대역 내에서 일정 주파수만큼 가진 주파수를 증가시키면서 제2압전소자를 이용하여 평판 구조물을 가진 하고, 제3압전소자의 전압의 측정치인 2-3측정치와 제4압전소자의 전압 측정치인 2-4측정치를 구하는 것만 다르다. (제1측정단계와 제2측정단계의 차이는 평판 구조물을 가진 하는 압전소자의 위치만 달라지는 것이다.)

[0027] 제2측정단계에서 구해진 2-3측정치 및 2-4측정치의 경우에도 상술한 예와 같은 조건에서 구해진다면 각각 101세트씩이 될 것이다.

[0028] 상술한 제1측정단계와 제2측정단계에서 1-3측정치, 1-4측정치, 2-3측정치, 2-4측정치를 구하면 이들 중 1-3측정치에서 2-4측정치를 뺀 결과를 2로 나누어서 M1데이터를 추출하게 된다.

[0029] M1데이터가 추출이 되면 상기 1-4측정치에서 상기 2-3측정치를 뺀 결과를 2로 나누어 M2데이터를 추출한다.

[0030] M3데이터는 M1데이터와 M2데이터를 서로 더한 결과를 2로 나누어 추출하게 되고, M4데이터는 M1데이터로부터 M2데이터를 뺀 결과를 2로 나누어 추출하게 된다.

- [0031] 상기 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터 추출은 각각의 주파수별로 행해지게 되며, 상술한 예에서와 같이 주파수 대역이 100~200kHz이고 1kHz씩 주파수를 증가시켜가면서 1-3측정치, 1-4측정치, 2-3측정치, 2-4측정치를 구했다면 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터 역시 각각 101세트가 될 것이다.
- [0032] 이론적으로 평판 구조물의 두께가 완벽하게 동일하고, 노이즈가 전혀 없는 상태에서 평판 구조물에 손상이 없다면, 특정 주파수에서 측정된 1-3측정치, 1-4측정치, 2-3측정치, 2-4측정치를 그래프로 도시하면 도 1과 같은 상태가 되는데, 램파의 특성인 대칭파(S_0)와 비대칭파(A_0)만 관찰된다. 그러나 평판 구조물에 손상이 있는 상태에서 동일한 조건으로 측정된 1-3측정치, 1-4측정치, 2-3측정치, 2-4측정치를 그래프로 도시하면 도 2에서와 같이 MC_1 , MC_2 와 같은 신호가 검출된다. 도 1 및 도 2의 그래프에서 점선으로 표시된 데이터는 실선으로 표시된 데이터와 비교할 때 위상이 180도 차이가 나는 측정치이다.
- [0033] 상기 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 추출하는 것은 대칭파(S_0)성분과 비대칭파(A_0)성분을 없애서 MC_1 , MC_2 성분만을 추출하기 위한 것인데, 도 3에 도시된 바와 같이 M1데이터의 경우 MC_1 성분과 MC_2 성분만 남되 위상이 그대로이고, M2데이터의 경우 MC_1 성분과 MC_2 성분만 남되 MC_1 성분은 그대로의 위상이지만 MC_2 성분은 위상이 바뀐 상태이다. M3데이터는 MC_1 성분만 남은 데이터이고 M4데이터는 MC_2 성분만 남은 데이터이다. M1데이터 내지 M4데이터를 추출하는 과정을 모드 디컴퍼지션(Mode Decomposition)이라 부른다.
- [0034] 따라서 모드 디컴퍼지션에 의해 MC_1 , MC_2 와 같은 신호가 검출되는 지를 파악할 수 있다면 손상도 추정이 가능하지만 실제적으로는 계측을 하는 과정에서 여러 가지 이유로 노이즈가 발생하게 되므로 MC_1 , MC_2 와 유사한 성분이 검출되더라도 손상에 의한 결과인지 노이즈에 의한 결과인지 파악하는 것이 불가능하므로 실제에서는 모드 디컴퍼지션한 결과에서 MC_1 , MC_2 와 유사한 성분이 존재하는 것만으로 손상이 있는 것으로 추정하는 것은 매우 불확실한 방법이다.
- [0035] 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 발명에서는 트랜스퍼 임피던스(Transfer Impedance)라는 개념을 새로 만들었으며, 이는 각각의 주파수에서 구해진 M1데이터, M2데이터, M3데이터, M4데이터를 모두 푸리에 트랜스폼(Fourier Transform)하여 x축에는 주파수, y축에는 임피던스의 주파수 성분 즉 트랜스퍼 임피던스를 표시한 그래프를 그리고 그 그래프의 면적을 구하여 그 크기를 상대비교함으로써 손상이 발생했는지 유무를 추정한다.
- [0036] 만약 손상이 발생했다면 트랜스퍼 임피던스 그래프의 아랫부분의 면적비가 M1데이터:M2데이터:M3데이터:M4데이터=2:2:1:1이 되는 것으로 규명되었으며, 실제의 경우에 노이즈가 함께 계측되어도 2:2:1:1과 유사한 결과를 보여준다.
- [0037] 상술한 방법에 의해 평판 구조물의 손상유무를 추정하는 것이다.
- [0038] 이하에서는 본 발명에 의한 평판 구조물의 손상 추정방법을 이용하여 실제 행한 실험에 대하여 설명하기로 한다.
- [0039] 실험에 사용된 평판 구조물은, 도 4에 도시된 바와 같이, 그 크기가 $453*197*6mm^3$ 인 알루미늄판이다. 네 개의 동일한 PSI-5AE타입의 압전센서가 제1압전센서(PZT A), 제2압전센서(PZT D), 제3압전센서(PZT B), 제4압전센서(PZT C)로 사용되었으며 그 크기는 각각 $10*10*0.508mm^3$ 이다. 제1압전센서와 제3압전센서 사이의 거리는 60mm이며, 제2압전센서와 제4압전센서사이의 거리 역시 60mm이다.
- [0040] 가진 주파수 대역은 100kHz에서 200kHz로 구해졌으며 1kHz씩 주파수를 증가시켜가면서 제1압전센서(PZT A) 및 제2압전센서(PZT D)를 이용한 평판 구조물의 가진이 이루어졌다.
- [0041] 최초에는 손상이 없는 상태에서 제1측정단계, 제2측정단계, M1데이터 추출단계, M2데이터 추출단계, M3데이터 추출단계, M4데이터 추출단계를 차례로 행하였고, 두 번째로는 도 4에 도시된 바와 같이 평판 구조물에 $20*1*3mm^3$ 의 홈을 형성한 상태에서 제1측정단계, 제2측정단계, M1데이터 추출단계, M2데이터 추출단계, M3데이터 추출단계, M4데이터 추출단계를 차례로 행하였다.
- [0042] 도 5a에 도시된 그래프가 M1데이터, 도 5b에 도시된 그래프가 M2데이터, 도 3c에 도시된 그래프가 M3데이터, 도 5d에 도시된 그래프가 M4데이터를 각각 도시하고 있으며, 점선으로 표시된 데이터가 손상이 없는 상태(intact)의 데이터를 실선으로 표시된 데이터가 홈을 판 상태(notched) 상태의 데이터를 표시하고 있다. 이때 도 5a 내지 도 5d에 도시된 그래프는 180kHz로 가진 했을 때의 데이터를 근거로 작성된 것이다.

- [0043] 진술한 바와 같이 손상이 없는 상태에서 데이터 디컴퍼지션을 하는 경우 이론적으로는 아무런 신호가 나타나지 않아야 하지만 노이즈에 의한 성분이 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- [0044] 평판구조물에 손상이 없는 상태에서 각각의 주파수에서 추출된 M1데이터 내지 M4데이터를 푸리에 트랜스폼하고, 평판구조물에 흠을 낸 상태에서 각각의 주파수에서 추출된 M1데이터 내지 M4데이터를 푸리에 트랜스폼한 결과가 도 6a 및 도 6b에 도시되어 있다.
- [0045] 그래프 상에서 x축은 주파수이고, y축은 트랜스퍼 임피던스(TI) 즉, 모드 디컴퍼지션된 임피던스를 푸리에 트랜스폼하여 주파수 영역으로 변환한 값을 표시한다.
- [0046] 도 6a 및 도 6b에 도시된 그래프의 그래프 아랫부분의 면적을 구하여 도시한 그래프가 도 7a 및 도 7b에 도시되어 있다.
- [0047] 도 7a 및 도 7b의 y축은 트랜스퍼 임피던스 에너지(Energy of Transfer Impedence)로 표시되어 있으며, 도 6a 및 도 6b에 도시된 그래프의 그래프 아랫부분의 면적의 크기를 표시한 것이다. 평판 구조물에 손상이 없는 상태에서는 도 7a와 같이 그 상대크기가 불규칙하지만, 평판 구조물에 흠을 형성한 상태에서 구한 도 7b의 경우 2:2:1:1과 유사한 것을 확인할 수 있으며 정확하게 2:2:1:1의 결과를 보여주지 않는 것은 노이즈(또는 에러)에 기인한 것이다.
- [0048] 이러한 에러를 고려하여 실제로 손상이 발생했는가를 확인하기 위해서는 어떤 기준이 필요하다.
- [0049] M1의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M2의 임피던스 에너지의 차이의 절대값과, M3의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M4의 차이의 절대값의 차이 중 큰 값은 노이즈에 의한 에러의 가장 큰 값을 의미한다. 따라서, 손상이 발생한 경우 M1의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M3의 임피던스 에너지의 차이의 절대값(또는 M2의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M4의 차이의 절대값)은 노이즈에 의한 에러의 가장 큰 값보다 커야한다.
- [0050] 이러한 논리에 의해 본 발명에서는, 도 7b에서의 M1의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M2의 임피던스 에너지의 차이의 절대값과, M3의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M4의 차이의 절대값의 차이 중 큰 값과, M1의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M3의 임피던스 에너지의 차이의 절대값, M1의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M4의 임피던스 에너지의 차이의 절대값, M2의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M3의 임피던스 에너지의 차이의 절대값, M2의 트랜스퍼 임피던스 에너지와 M4의 임피던스 에너지의 차이의 절대값 중 가장 큰 작은 값을 서로 비교하여 후자가 전자보다 작은 경우 손상이 발생한 것으로 추정한다.
- [0051] 이를 식으로 나타내면 아래와 같다. 아래의 식에서 E(M1)은 M1의 트랜스퍼 임피던스 에너지를 표시하고, E(M2)은 M2의 트랜스퍼 임피던스 에너지를 표시하며 나머지는 E(M3)와 E(M4)도 동일한 규칙이 적용된다.

[0052]
$$\min(|E(M1)-E(M3)|,|E(M1)-E(M4)|,|E(M2)-E(M3)|,|E(M2)-E(M4)|) > \max(|E(M1)-E(M2)|,|E(M3)-E(M4)|)$$

[0053] 상기 수식이 만족하는 경우에 손상이 발생한 것으로 볼 수 있는 것이다.

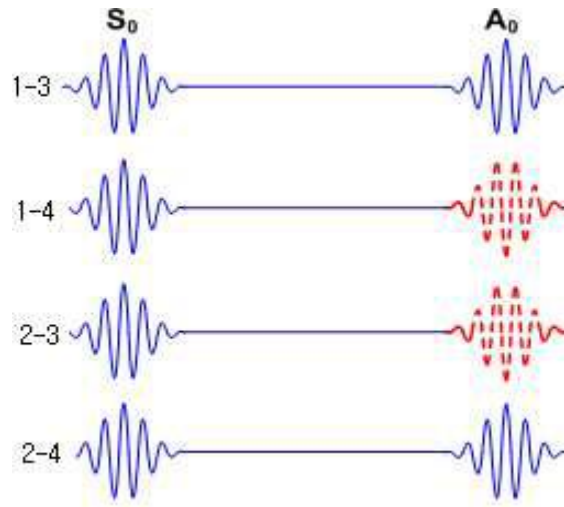
도면의 간단한 설명

- [0054] 도 1은 노이즈가 없는 이론적인 상태에서 제1압전소자 및 제2압전소자를 이용하여 손상이 없는 평판 구조물을 가진 하고 제3압전소자 및 제4압전소자에서 전압을 측정된 결과를 나타내는 그래프.
- [0055] 도 2는 노이즈가 없는 이론적인 상태에서 제1압전소자 및 제2압전소자를 이용하여 손상이 발생한 평판 구조물을 가진 하고 제3압전소자 및 제4압전소자에서 전압을 측정된 결과를 나타내는 그래프.
- [0056] 도 3은 도 2의 결과를 모드 디컴퍼지션한 결과를 나타낸 그래프.
- [0057] 도 4는 본 발명과 관련된 실험을 설명하기 위한 도면.
- [0058] 도 5a 내지 도 5d는 도 4에 도시된 실험예의 실제 측정결과를 모드 디컴퍼지션한 그래프.
- [0059] 도 6a 및 도 6b는 도 5a 내지 도 5d의 결과를 이용하여 각 주파수별로 푸리에 트랜스폼하여 트랜스퍼 임피던스를 구한 결과를 나타낸 그래프.

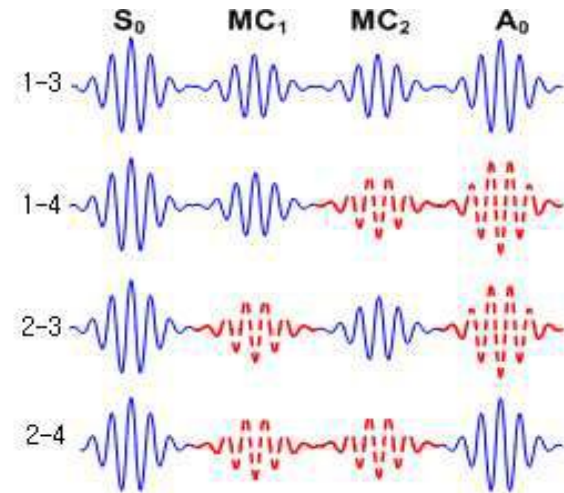
[0060] 도 7a 및 도 7b는 도 6a 및 도 6b의 결과를 이용하여 트랜스퍼 임피던스 에너지를 구한 결과를 나타낸 그래프.

도면

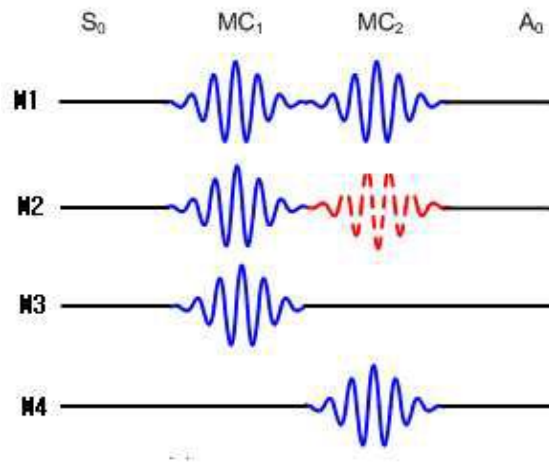
도면1



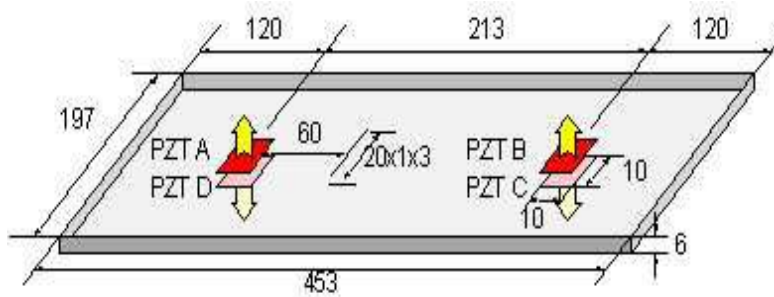
도면2



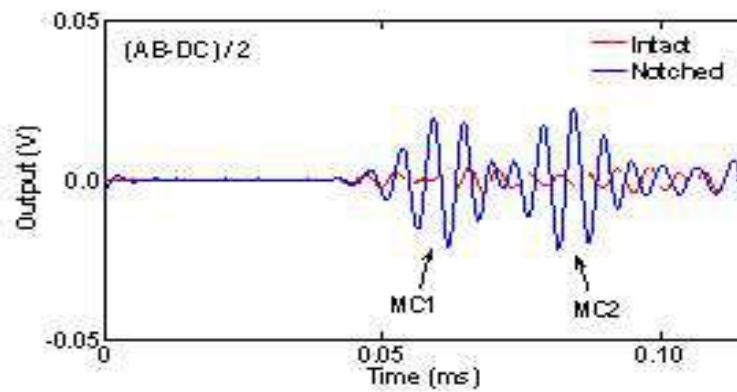
도면3



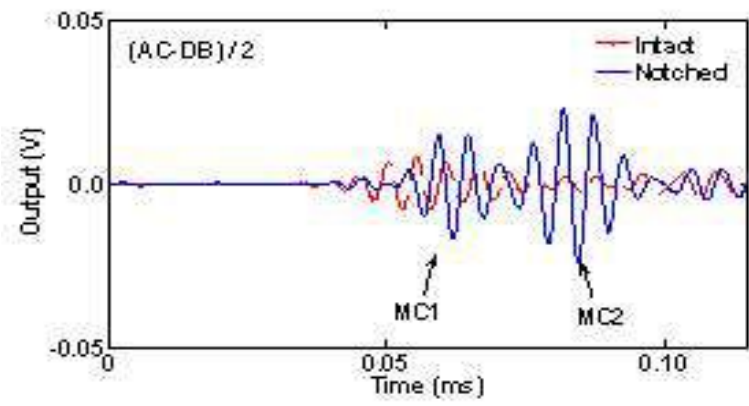
도면4



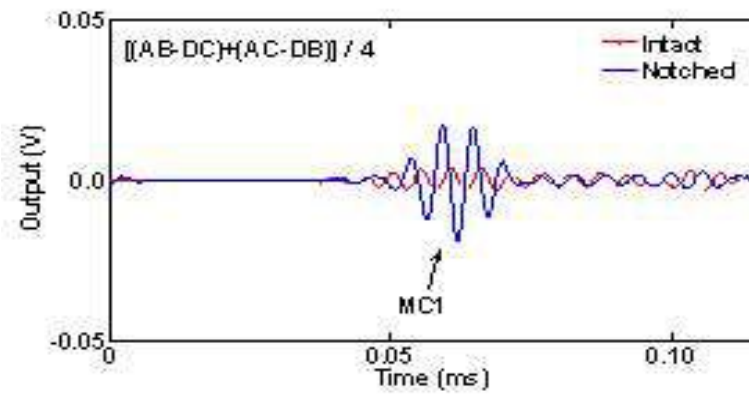
도면5a



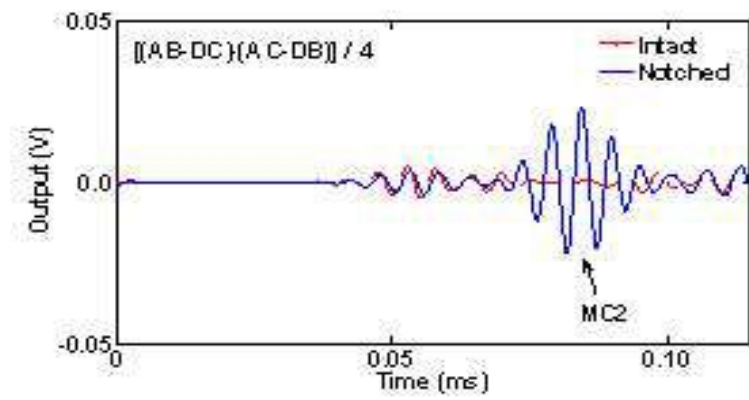
도면5b



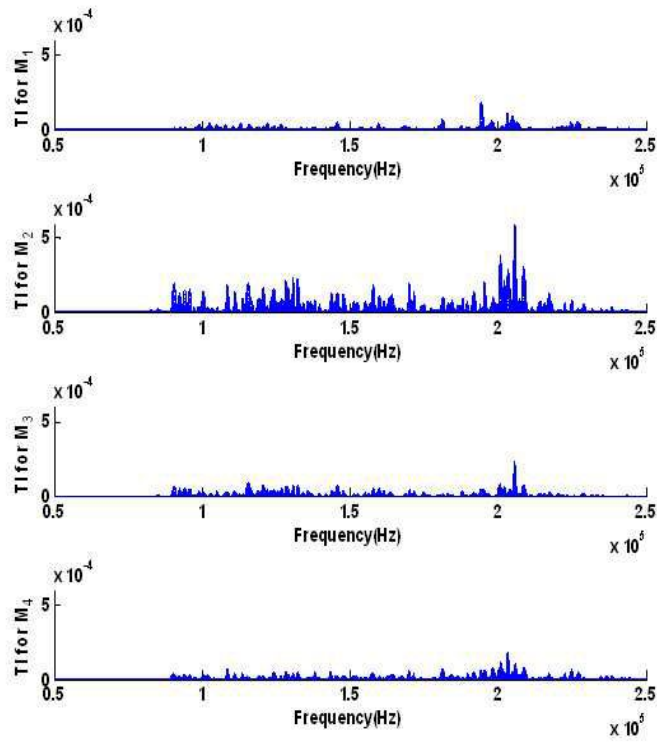
도면5c



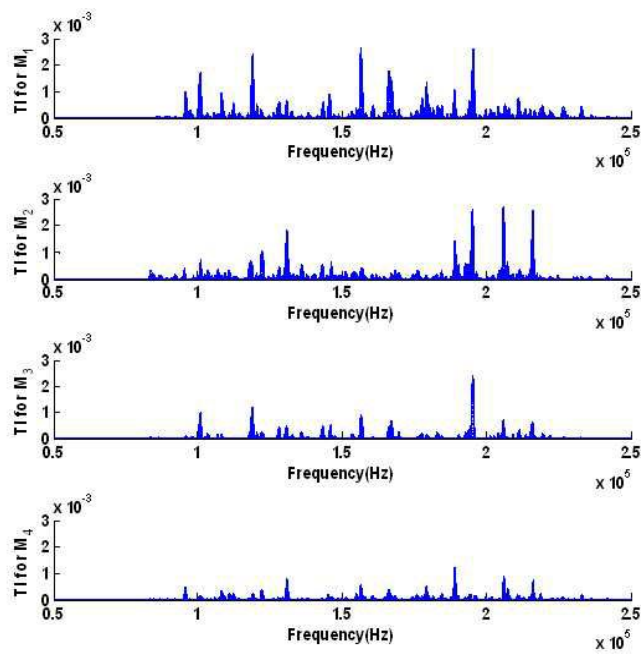
도면5d



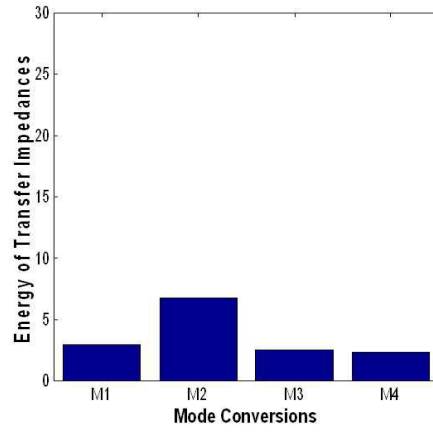
도면6a



도면6b



도면7a



도면7b

